



UNIVERSIDAD DE CUENCA
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

**“MODELO DE ELABORACIÓN DE TEMPARIO PARA REDUCIR LA
INCERTIDUMBRE EN TIEMPOS DE TRABAJO CON ALTA
VARIABILIDAD”**

**TRABAJO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO
INDUSTRIAL**

AUTOR: ANDRÉS TEODORO CALLE CLAVIJO

010449700-3

TUTOR: ING. JAMES MARLON ARIAS CISNEROS

010240714-5

SEPTIEMBRE DEL 2018

CUENCA – ECUADOR

Modelo de Elaboración de Tempario para Reducir la Incertidumbre en Tiempos de Trabajo con Alta Variabilidad.

Andrés Calle, James Arias.

Universidad de Cuenca, Facultad de Ciencias Químicas, Carrera de Ingeniería Industrial
Cuenca – Ecuador, Septiembre del 2018

Resumen

El objetivo de este trabajo es presentar una propuesta metodológica para la elaboración de temparios orientados a reducir la incertidumbre en los tiempos de fabricación presentes en empresas que funcionan bajo pedido. Para ello se realizó una revisión de la bibliografía relacionada con el tema y se encontró que los temparios utilizados en el sector automotriz pueden ser adaptados a una planta que fabrica productos a pedido. Luego de esto se presenta la manera de estructurar un tempario, su funcionamiento y cómo obtener los tiempos que no se pueden medir mediante inferencia estadística utilizando regresión lineal múltiple. Además, al ser una base de datos extensa y multidimensional, se propone manejar al tempario utilizando el análisis OLAP mediante software de fácil acceso. Adicionalmente, se demuestra la aplicación de todo el proceso de elaboración y manejo de temparios mediante un ejemplo. Con todo lo mencionado se concluye que se puede reducir la incertidumbre en la duración del proceso de fabricación de un nuevo producto a través de la utilización de temparios que permiten estimar el tiempo en función de múltiples variables.

Palabras Clave: PYMEs, Tiempo de Producción, Incertidumbre, Tempario, Inferencia de tiempos, OLAP.

Modelo de Elaboración de Tempario para Reducir la Incertidumbre en Tiempos de Trabajo con Alta Variabilidad.

Andrés Calle, James Arias.

Universidad de Cuenca, Facultad de Ciencias Químicas, Carrera de Ingeniería Industrial
Cuenca – Ecuador, Septiembre del 2018

Abstract

The objective of this work is to present a methodological proposal for the elaboration of temparia, which is oriented to reduce production times uncertainty found in make-to-order industries. For this aim, a review of the literature related with this topic was carried out and it was found that the temparia used in the automotive sector can be adapted to a plant that fabricates unique products. Subsequently, the way to structure a temparium and its functioning is presented, also how to obtain the times that cannot be measured through statistical inference using multiple linear regression. Moreover, as the temparium is an extensive multidimensional data base, it is proposed to operate it using OLAP analysis through easy access software. Additionally, the application process of all the elaboration and operation of temparia is demonstrated via example. On this basis, it was concluded that production times uncertainty in new products fabrication can be reduced through temparia utilization, which allow the estimation of the time based on multiple variables.

Keywords: SMEs, Production Time, Uncertainty, Temparium, Time Inference, OLAP.

INDICE

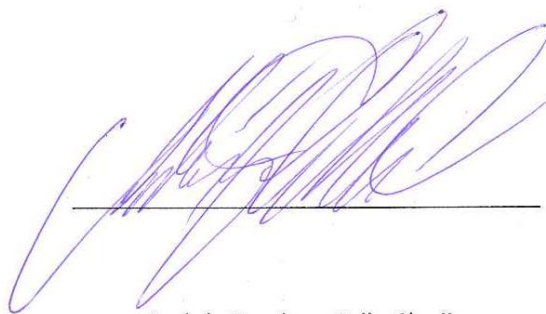
1. Introducción	1
1.1. Enfoques tratados	3
1.2. Los Temparios	5
2. Desarrollo	6
2.1. Inferencia de Tiempos	9
2.2. Manejo del Tempario	12
3. Demostración de la elaboración y el manejo de un Tempario	13
4. Conclusiones	21
Recomendaciones	22
Agradecimientos	22
Referencias Bibliográficas	22

Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio Institucional

Yo, Andrés Teodoro Calle Clavijo, en calidad de autor y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación "Modelo de Elaboración de Tempario para Reducir la Incertidumbre en Tiempos de Trabajo con Alta Variabilidad", de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 12 de Septiembre del 2018.



Andrés Teodoro Calle Clavijo

C.I: 0104497003

Cláusula de Propiedad Intelectual

Yo, Andrés Teodoro Calle Clavijo, autor del trabajo de titulación “Modelo de Elaboración de Tempario para Reducir la Incertidumbre en Tiempos de Trabajo con Alta Variabilidad”, certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor.

Cuenca, 12 de Septiembre del 2018.



Andrés Teodoro Calle Clavijo

C.I: 0104497003



1. Introducción

Existen varios tipos de procesos industriales que varían de acuerdo a la naturaleza de las empresas. Por un lado se tiene el flujo continuo, caracterizado por sus grandes instalaciones, capital intensivo, costo poco variable, mano de obra baja, pocas destrezas requeridas por parte de la misma, grandes volúmenes de producción y productos estándar con muy poca o nula opción de personalización. En el otro extremo se tienen los proyectos, caracterizados por elaborar productos bajo pedido (cada orden es única y con alto nivel de personalización), tiempos inciertos de fabricación (generalmente largos), volumen de producción relativamente bajo, costo con alta variabilidad, gran cantidad de mano de obra involucrada y con destrezas específicas requeridas.

En medio de los casos expuestos están las fábricas de tipo taller. Entre sus características principales se encuentran: alta flexibilidad, cartera de productos extensa, costo bastante variable, volumen bajo de producción, gran cantidad de mano de obra con destrezas requeridas y generalmente catalogadas de tamaño pequeño y mediano (Schmenner, 1989).

Dentro de éstas empresas se han realizado varios estudios para analizar las dificultades con las que conviven. De ellos se

concluye que los problemas más comunes con los que se debe lidiar son: subutilización de la capacidad instalada, carencia de tecnología avanzada en procesos y aplicación nula de las técnicas de planeación de la producción (Pérez, 2004).

Las industrias de tipo taller funcionan generalmente bajo pedido, por lo que a cada orden de trabajo se la debe tomar como un producto único. Estos productos deben someterse a procesos de transformación específicos por lo que pasarán por centros de trabajo diferentes y tendrán una ruta en concreto. Es así que se pueden encontrar casos puntuales como el expuesto por Delgado & Naranjo (2010), cuyo punto de partida es la gran cantidad de trabajos distintos que pueden presentarse en un taller de mantenimiento de vehículos, considerando que hay la posibilidad de combinar varios de los servicios que ofrece dicho taller. Esta situación conlleva que se procese una orden distinta cada vez, lo cual deriva en una alta incertidumbre en el tiempo que tomará cada proceso.

Otro estudio por Orejuela (2010) muestra que las imprentas atraviesan una situación similar. En ellas, los pedidos pueden demandar una gran cantidad de actividades ya sea plegado, cosido, troquelado, impresión, ensamble, e incluso terminados a mano, que van a permitir ajustarse a las necesidades del



cliente como forma, color y tamaño de los trabajos solicitados. Así, al final se obtiene un escenario bastante similar al anterior en cuanto a los productos que se ofrecen y las implicaciones para fabricarlos por lo que el problema de la incertidumbre en los tiempos se encuentra también en las imprentas.

Otro ejemplo claro es el expuesto por Cedillo (2010), quien presenta el caso de un taller de latonería en el que se efectúan trabajos que pueden ir desde tapar raspones hasta complejas enderezadas y reemplazos de partes de la carrocería de automóviles que han sufrido algún tipo de daño. Este es un escenario bastante incierto considerando que las colisiones de automóviles son muy impredecibles puesto que la zona afectada, su tamaño y el nivel del daño siempre serán distintos. Si a esto se le suma el hecho de que existen varios tipos de vehículos, la cantidad de problemas que se podrían presentar en estos talleres es infinita (a la que podríamos comparar con la cartera de productos que puede ofrecer un taller de pedido).

De las situaciones expuestas, se puede inferir que la variabilidad e incertidumbre están presentes en varias industrias, lo que las convierte en problemas de tipo general. Entonces, la programación en estos casos busca cumplir con las fechas de entrega, reducir las esperas de los trabajos y llevar los tiempos ociosos al mínimo. Por lo tanto, la

programación consiste en la asignación de tareas a los recursos y la secuenciación de dichas tareas de acuerdo a la asignación realizada, lo cual se complica debido a los tiempos variables y con cierto grado de incertidumbre ya que no se puede conocer la capacidad real de cada recurso (Osorio, 2014).

Por otra parte, la carencia de una estructura de costos de producción actualizada y técnicamente elaborada en las PYMEs, impide hacer cotizaciones rápidas y de forma correcta (Guerrero, 2004) tomando en cuenta que los costos de producción están en función de los costos indirectos de fabricación, la materia prima directa y la mano de obra directa (Polimeni, 1994). Entonces, la asignación del costo en que se incurre por tiempo en mano de obra presenta dificultades debido a los tiempos de trabajo inciertos y la cotización final se complica dando lugar a dos escenarios posibles: se sobreestima el costo y se eleva el precio de venta con lo que se corre el riesgo de perder al cliente, o se subestima el costo y la empresa pierde.

En conclusión, debido la naturaleza del ambiente de un taller que funciona bajo pedido, (generalmente relacionado con las pequeñas y medianas empresas), la incertidumbre en los tiempos de trabajo es un dilema constante que resulta en dificultades al programar y cotizar las órdenes de producción. Bajo este concepto, es necesario indagar cómo se ha tratado la



incertidumbre con éxito en otros escenarios de manera que permita buscar posibles soluciones.

1.1. Enfoques tratados

De acuerdo a la *Guía de los Fundamentos para la dirección de Proyectos (PMBook)*, los niveles medio y alto de incertidumbre son comunes en los proyectos. Al manejarse bajo pedido, los resultados que se obtienen de ellos son únicos a pesar de actividades comunes o elementos que se repitan entre uno y otro. Por ende, el tratamiento de la incertidumbre en los proyectos podría considerarse análogo al problema de la incertidumbre en los tiempos de producción.

Sin embargo, en los proyectos como tal se han logrado más avances al punto de que se ha determinado una solución mediana al problema a través de diferentes técnicas que bajen la incertidumbre en la estimación del tiempo. Por eso, es necesario indagar entre estas metodologías con el fin de comprobar su efectividad y la factibilidad de trasladarlas a la producción en talleres.

Entre las técnicas utilizadas en los proyectos se encuentran las siguientes:

1.1.1. Juicio de Expertos: se busca estimar la duración de una tarea o conjunto de tareas basándose en la experiencia de personal que haya participado en proyectos anteriores con características similares. Sin embargo, este método no tiene una base lo suficientemente sólida

lo cual no minimiza considerablemente el riesgo.

1.1.2. Estimación Análoga: esta técnica se basa, a más del juicio de expertos en los datos históricos que posea la empresa de proyectos realizados anteriormente. Lo que se busca con este método es revisar información que incluya la duración, tamaño y complejidad para buscar relaciones con los proyectos nuevos y realizar estimados. Por lo general, la estimación análoga no es demasiado costosa y demorada, pero tampoco es muy exacta.

1.1.3. Estimación Paramétrica: utiliza técnicas estadísticas para encontrar una relación entre los datos históricos y otra variable que puede influir en la duración del trabajo como el tamaño, cantidad de trabajadores, etc. El tiempo de producción puede entonces obtenerse al multiplicar la cantidad de trabajo pendiente por las horas de trabajo por unidad de trabajo. Cabe mencionar que esta técnica es mucho más precisa que las anteriores y la exactitud dependerá de la fiabilidad de los datos y del análisis que se ocupe.

1.1.4. Estimación por Tres Valores: propuesta por el método PERT, busca reducir los riesgos al plantear tres posibles valores para la duración de cada actividad del proyecto:

- Más probable (t_M): es el tiempo estimado basado en la planificación realizada, es decir, considerando los recursos asignados, los paros previstos y una serie de variables más que se consideran con juicios realistas.

- Optimista (t_O): Es el tiempo estimado considerando que se dé el mejor caso posible, es decir, no existen fallas, paros, ausencia de recursos, etc.

- Pesimista (t_P): Es el tiempo estimado considerando que se dé el peor caso posible, es decir, ocurrencia de fallas, paros, etc.

La técnica entonces permite calcular un tiempo esperado (t_E) utilizando un promedio ponderado de los tres valores mencionados:

$$t_E = \frac{t_O + 4t_M + t_P}{6}$$

Ecuación 1: Tiempo esperado de trabajo según el método PERT.

Esto, a más dar a conocer la duración estimada, permite visualizar plazos optimistas y pesimistas.

1.1.5. Análisis de Reserva: si bien no soluciona el problema de la incertidumbre es una técnica para minimizar el riesgo, ya que pretende establecer un contingente en caso de que el proyecto se retrase. Puede tomarse como una parte del tiempo total estimado, una cantidad fija de periodos

de trabajo, o calcularse mediante métodos de análisis cuantitativos. (Project Management Institute, 2008)

De las técnicas mencionadas, lo que se utiliza normalmente en las PYMEs es el Juicio de Expertos, partiendo de que: si bien las órdenes varían en la producción en talleres, éstas difieren de los proyectos porque tienen elementos comunes que son más manejables y permiten hacer una estimación en la duración del trabajo. Es así que las personas que llevan un tiempo considerable en las organizaciones pueden hacer la estimación gracias a su experiencia basada principalmente en situaciones de prueba-error.

A más de esto, se utilizan los datos históricos de la empresa para realizar la Estimación Análoga, que al combinarse con el criterio de los peritos da una mejor idea del tiempo en que se incurrirá al fabricar una orden. Actualmente, con la incorporación de personas con estudios superiores a las PYMEs se llega a utilizar incluso la estimación paramétrica para de alguna manera llegar a resultados más técnicos en los tiempos, que si bien mejoran la situación, aún no son suficientes.

Esto quiere decir que las técnicas revisadas hasta el momento aún no permiten solventar el problema, por lo tanto se ha visto necesario indagar qué otros métodos se han



propuesto para tratar la incertidumbre en los proyectos.

Para esta búsqueda se ha recurrido al *Libro de Dirección de Proyectos (PMBook)* donde existe un enfoque normalizado para tratar el problema de los tiempos inciertos con una metodología que ha manifestado su funcionalidad a la que se denomina técnicamente como *Estructura Desagregada del Proyecto* o *Estructura Desagregada del Trabajo* (PMI, 2008). La *EDP* consiste en el desglose de las actividades en las que se incurre, de manera que se visualice con mayor claridad qué recursos intervienen en cada una de ellas y las consideraciones más importantes como la duración. (Figueroa, 2010)

Al tratar las partes del todo de manera individual, se tiene un panorama más claro de los factores influyentes en cada fase. Con este enfoque se logra reducir la incertidumbre en el tiempo, entonces es una solución no sólo viable sino mucho más aplicable en empresas de producción bajo pedido tomando en cuenta que se tiene la ventaja de que en producción se trata a un sistema más estable y cuyas tareas son más comunes.

Ahora que se sabe que la desagregación es la solución a la incertidumbre, se la debe tratar con algún tipo de herramienta que no sólo permita visualizar el conjunto de tareas desagregadas sino también escoger valores de

interés y obtener tiempos totales para órdenes con características específicas.

1.2. Los Temparios

Bajo esta figura, buscando sistemas que desagreguen tareas, se pudo identificar una solución interesante utilizada en el sector automotriz para manejar los talleres de mantenimiento y latonería. En ella se han logrado introducir datos estadísticos para obtener valores estándar que puedan ser utilizados en todas las certificaciones regionales vehiculares del mundo.

A la metodología propuesta se la conoce técnicamente como *Tempario* y da una solución a la incertidumbre en los tiempos mediante el desglose y formulación de las posibles actividades y supuestos que puede conllevar una orden de trabajo.

Teniendo presente que en los talleres de latonería se cuenta con una amplia gama de variables con sus respectivos niveles (grado de corrimiento de la carrocería, tamaño del área afectada, etc.) y que a pesar de lo impredecibles que pueden llegar a ser los pedidos en ese sistema los temparios han demostrado su funcionalidad, en una producción de taller serán aún más efectivos por el hecho de que los pedidos son más fáciles de tratar gracias a que existe cierto nivel de similitud entre ellos.

Sin embargo, es necesario considerar que el tiempo de un proceso en un taller de pedido va a estar en función de cuatro variables

principales: tamaño, forma, cantidad y complejidad, si a esto sumamos la desagregación que se pretende realizar, la cantidad de tiempos en que se incurre es bastante alta por lo que no es deseable llegar a niveles de detalle muy específicos ya que se puede extender demasiado al tempario con valores que no son necesarios. El otro extremo sería mantenerse en lo general, en cuyo caso resultan tiempos poco precisos disminuyendo así la utilidad del tempario. Entonces, el éxito se da al colocar las variables necesarias para contar con una herramienta lo suficientemente precisa y manejable a pesar de su multifuncionalidad.

Por otra parte, no todos los datos se podrán medir por la naturaleza de la poca repetitividad, sin embargo, esto no representa un inconveniente puesto que a partir de los tiempos disponibles es posible inferir los demás mediante técnicas matemáticas y/o estadísticas que se detallan más adelante.

Con todo lo expuesto, se propone hacer un *bench* de la industria automotriz y trasladar la utilización de temparios a los talleres de producción, ya que a pesar de lo útiles que éstos pueden llegar a ser para las PYMEs, no se ha creado un modelo para generarlos y aplicarlos en ellas, hecho que podría significar un gran avance en su desarrollo al permitir una mejor visualización para la gestión de los recursos y proyección de costos.

2. Desarrollo

Si bien la literatura relacionada con el tema no presenta una definición de lo que es un tempario, una revisión de la misma permite catalogarlo como una base de datos multidimensional que es utilizada para reducir la incertidumbre que se tiene al estimar el tiempo de fabricación de un nuevo producto. Los datos contenidos en él corresponden a los tiempos de cada etapa de un proceso y son obtenidos a partir de la desagregación de las tareas.

Un tempario tiene la particularidad de que permite seleccionar el tiempo buscado no sólo en base a los atributos del producto en cuestión, sino que asigna niveles a cada uno de ellos para obtener valores aún más específicos y reducir la incertidumbre a lo mínimo posible. Esto deriva en la multidimensionalidad de la base, debido a que las cualidades de los productos se agruparán dentro de un sinnúmero de variables que se presentan al momento de la desagregación del trabajo con sus respectivos niveles.

El resultado será entonces una estructura compleja en la que el eje de cada dimensión corresponde a un atributo del producto, lo que significa que para poder obtener el dato correspondiente a un tiempo específico contenido en la base, primero se necesita hacer un cruce de múltiples variables y seleccionar

los valores que éstas adopten para coincidir con las características buscadas.

Se puede apreciar este proceso con mayor claridad en la *Figura 1*, donde se observa el cruce de las variables 1, 2 y 3 cuando adoptan los valores (x, y, z) respectivamente. El punto de intersección representa el tiempo buscado que estará contenido en la base de datos. Sin embargo, no se debe dejar de lado que ésta es una mera representación, ya que la base podría tener cuantas dimensiones fuesen necesarias.

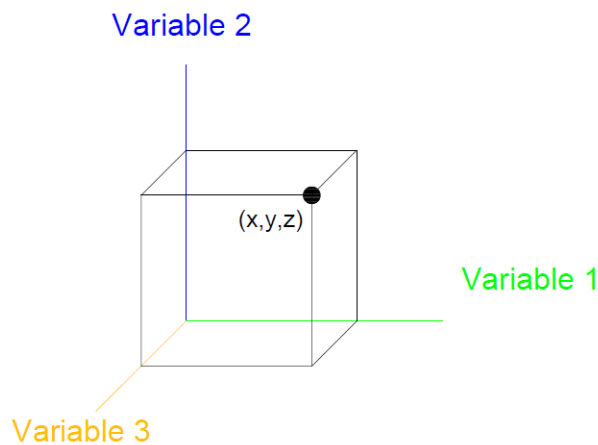


Figura 1. Representación de la multidimensionalidad del tempario en base a sus variables.

Entonces, existe una relación entre todos los posibles ejes dando lugar a una gran cantidad de valores que pueden ser tomados de la base de datos para su utilización. A esta relación entre las variables se la debe tratar matemáticamente utilizando el *Principio del producto* que expresa que si una variable puede ocurrir de m maneras y otra variable de k maneras, las dos pueden ocurrir de $m*k$

maneras (Wilhelmi, 2004). Sin embargo, el caso a tratar presenta la particularidad de la multidimensionalidad, por lo que la anterior ecuación debe ser adaptada a la forma:

$$X = x_1 \times x_2 \times x_3 \times \dots \times x_n$$

Ecuación 2: Cantidad de datos del tempario.

Donde $x_1, x_2, x_3 \dots x_n$ representan las cantidades de valores que puede adoptar cada eje desde la variable 1 hasta la variable n , mientras que el valor obtenido X es la cantidad de valores que se pueden extraer del tempario. Este último tenderá a ser bastante alto, por lo tanto se debe contar con una cantidad prudente de variables para no extender demasiado el total de datos y complicar el posterior análisis, pero lo suficientemente buena de manera que permita obtener una estimación con el menor error posible.

Esto conlleva al siguiente punto a considerar que consiste en definir el nivel de desagregación al que se debería llegar al momento de seleccionar las variables que vayan a estar presentes en la base.

Se tiene entonces que el número de categorías que se maneje va a depender del grado de descomposición del trabajo al que se desee llegar, lo cual está directamente relacionado con la complejidad de los productos con los que se cuenta. Es decir, mientras más variantes presenten sus



características, más grande y complejo será el tempario resultante.

Por lo tanto, se debe descomponer el trabajo pero sin llegar a niveles micro, más bien centrados en las características del producto final, las operaciones por las que deba pasar el producto durante su transformación (ruta) y las variables influyentes en dichas operaciones; con esto se logra una estimación de tiempo bastante buena, pero lo suficientemente fácil de realizar.

Con todos estos antecedentes, alrededor de cuatro variables son suficientes, que como hemos mencionado serían:

- Tamaño: no es lo mismo fabricar un producto grande que un pequeño; el tiempo variará ya sea por las herramientas que se utilicen, la cantidad de material involucrado, etc.
- Forma: un producto con geometría esférica deberá pasar por un proceso adicional a uno con estructura plana por ejemplo.
- Cantidad: depende si la empresa trabaja por lotes. De darse el caso, el número de productos que se fabriquen será directamente proporcional al tiempo que se tome en procesarlos.
- Complejidad: independientemente del tamaño, un producto puede considerarse complejo si presenta demasiados detalles, el material que lo

compone es difícil de tratar, etc. En ese caso, el tiempo de trabajo sería mayor.

Partiendo de esto, cada variable abarcará varios niveles que se convertirán en valores que ellas podrán adoptar y relacionar dando como resultado una base de datos bastante completa. La obtención de los valores buscados para una operación del proceso se logra con un análisis de dicha base mediante una serie de pasos:

- Reconocer las características del producto a fabricar.
- Identificar la ruta del producto.
- Escoger los valores que adopten las variables para cada operación.
- Tomar los tiempos correspondientes a dichos valores.

Una vez que se tengan todos los tiempos de interés, se los debe adicionar de manera que se obtenga el tiempo de cada operación. Entonces, a la duración de cada operación se la puede representar mediante:

$$to_j = x \cdot \sum_{i=1}^{i=n} t_i$$

Ecuación 3: Duración de cada operación del proceso.

Donde to_j es el tiempo de la operación j , t es el tiempo que se toma en fabricar cada variable i y x es la cantidad de productos que se van a fabricar. El t_i corresponde a los tiempos de las variables que son tomadas en cuenta para la operación j debido a que algunas influyen en

una operación y en otra no. La cantidad es una de esas variables, es por eso que se la considera para el tiempo de cada operación mas no para la duración total.

Bajo este esquema, se vale decir que el to es un subtotal debido a que un producto puede pasar por una o varias operaciones y el tiempo total estará en función de todas ellas. Esto significa que para encontrar el tiempo de procesamiento de un nuevo producto hace falta adicionar los subtotales obtenidos con el procedimiento anterior de todas las operaciones que involucra el proceso. De esta manera, la ecuación que se debe utilizar para hallar el tiempo total de manufactura es:

$$T = \sum_{j=1}^{j=m} to_j$$

Ecuación 4: Duración total del proceso.

Donde T es el tiempo estimado total, to_j es el tiempo correspondiente a cada operación y m es la cantidad de operaciones por las que el producto tiene que pasar.

Así, se llega a afirmar que la clave del tempario es la desagregación, para que a través de la precisión en los elementos desagregados se vuelva a formular el total y en función de eso estimar el nuevo tiempo.

Por otra parte, para poder calcular el tiempo de proceso con las ecuaciones planteadas se debe contar con todos los datos

de la base. No obstante, la toma de tiempos se torna una tarea compleja debido a la poca repetitividad de las operaciones y la gran cantidad de valores que existen gracias al número de variables que se maneja y los valores que éstas pueden adoptar. Incluso si se considera la posibilidad de no producir un ítem que presente alguna de las características a analizar, no se realizaría la medición y no se podría llenar la base de datos lo que complicaría el análisis sobre todo cuando se trate de nuevos productos.

La solución a este inconveniente consiste en tomar todos los tiempos posibles de manera que se cuente con una cantidad de datos tal que permita inferir todos los demás.

Inferencia de tiempos

El objetivo sería hallar la relación que existe entre los tiempos de un producto y otro en base a una categorización por niveles. La particularidad de este análisis es que se busca obtener la variable dependiente que es de tipo cuantitativo (tiempo) en base a una serie de variables independientes cualitativas (nivel de complejidad, tamaño y forma). Según Sampieri (2010) a este tipo de análisis se lo conoce como *mixto* ya que pretende obtener resultados en base a dos tipos distintos de variables.

Partiendo de esto, para el caso del tempario se debe empezar con una *categorización de las variables cualitativas*, que consiste en decidir cuáles serán los posibles

valores que puede adoptar cada una de ellas y delimitarlos claramente en base a la naturaleza del producto, es decir, dependiendo de lo que la empresa fabrique se podrían tener tres categorías de tamaños (pequeño, mediano y grande), dos niveles de dificultad (fácil y difícil), etc. que a su vez estarán definidos por rangos establecidos para poder decidir en qué grupo encaja un atributo del producto.

Por otra parte, para inferir los datos faltantes se debe utilizar una técnica estadística que permita encontrar una relación precisa entre una combinación y otra de los valores de las variables independientes. A esta técnica se la conoce como *regresión*, pero cuando se trata con más de una variable independiente (como en los temparios) se utiliza la *regresión múltiple*. Con esta herramienta es posible obtener el tiempo a partir de cualquier combinación de valores de las variables independientes, esto quiere decir que la base de datos contará con todos los valores necesarios para poder estimar el tiempo de fabricación de cualquier producto. (Spiegel, 2003).

Entonces, la finalidad del proceso de regresión es obtener una ecuación que se ajuste a los datos en cuestión colocando la variable dependiente en base a las independientes, es decir:

$$Y = f(X_1, X_2, X_3, \dots, X_n)$$

Ecuación 5: Dependencia de la variable Y en función de las variables X.

De esta manera, lo que se busca es obtener los coeficientes de cada variable para que al momento de ingresar los valores independientes sea posible realizar las operaciones algebraicas y obtener el tiempo buscado.

Sin embargo, no se debe dejar de lado que se está tratando con variables cualitativas y la regresión es un análisis matemático. Para esto se utiliza una técnica conocida como *codificación* que consiste en asignar valores numéricos a las variables cualitativas de forma que estas se transformen en valores que pueden ser tratados matemáticamente. Por ejemplo, a los niveles de dificultad fácil, medio y difícil se les podría asignar los valores numéricos 1, 2 y 3 respectivamente.

Una vez codificadas las variables, se las coloca en la base junto con los datos de los tiempos disponibles y se procede a buscar la ecuación de regresión que tiene la forma:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_{i1} + \beta_2 X_{i2} + \dots + \beta_\phi X_{i\phi} + \varepsilon_i$$

Ecuación 6: Forma base de la Ecuación de Regresión.

Los coeficientes β deben ser estimados de modo que se obtenga el mínimo error posible dado por:

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{\sum (y - y_{est})^2}{n}}$$

Ecuación 7: Error del Proceso de Estimación.



Donde y es el valor real que se ha podido medir, y_{est} es el valor del tiempo estimado y n es el número de datos que pueden ser comparados.

Ahora, para obtener los coeficientes se debe utilizar la forma matricial de la ecuación de regresión que es:

$$Y = X\beta + \varepsilon$$

Ecuación 8: Forma matricial de la Ecuación de Regresión.

Donde:

$$Y = \begin{pmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \dots \\ y_n \end{pmatrix}$$

$$X = \begin{pmatrix} 1 & X_{11} & X_{12} & \dots & X_{1p} \\ 1 & X_{21} & X_{22} & \dots & X_{2p} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & X_{n1} & X_{n2} & \dots & X_{np} \end{pmatrix}$$

$$\varepsilon = \begin{pmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \dots \\ \varepsilon_n \end{pmatrix}$$

Entonces, los coeficientes se hallan mediante la ecuación (Pértega, 2000):

$$\beta = (X^T \cdot X)^{-1} \cdot (X^T \cdot Y)$$

Ecuación 9: Coeficientes de Regresión.

Ahora, es necesario conocer el nivel de ajuste de los coeficientes obtenidos a los datos de la base, para esto se debe hallar el *coeficiente de determinación* dado por:

$$R^2 = \frac{SS_R}{SS_T}$$

Ecuación 10: Coeficiente de Determinación.

Donde SS_R es la suma de cuadrados de la regresión y SS_T es la suma de cuadrados total que se obtienen respectivamente mediante:

$$SS_R = \beta' X' y - \frac{(\sum_{i=1}^n y_i)^2}{n}$$

Ecuación 11: Suma de Cuadrados de la Regresión.

$$SS_T = y'y - \frac{(\sum_{i=1}^n y_i)^2}{n}$$

Ecuación 12: Suma de Cuadrados Total.

El coeficiente de determinación es un buen referente para conocer la efectividad del proceso de estimación y tendrá valores que oscilen entre 0 y 1. Así, si R^2 es igual a 1 tendríamos un ajuste perfecto y si es igual a 0 el modelo no se ajusta a los datos. Los dos casos son extremos, por lo que deberíamos buscar que R^2 se aproxime a 1.

Una vez verificado el nivel de ajuste, se deben reemplazar los coeficientes β en la forma estándar de la ecuación de regresión de modo que se obtenga la ecuación ajustada para el caso a tratar.

Finalmente, para hallar los valores de los tiempos faltantes se deben reemplazar las variables X con todas las combinaciones posibles de los valores codificados de las variables independientes.

Una vez hecho esto, se contará con una base de datos completa, con todas las variables, sus posibles combinaciones y los datos de los tiempos, lo que reduce la incertidumbre que se tenía en un inicio ya que si bien no son exactos los datos obtenidos mediante la regresión, permiten tener una idea bastante buena del tiempo que tomará fabricar un producto con cualquiera de las combinaciones de características disponibles.

Pero, para poder obtener cualquier dato del tempario de manera eficiente, es necesario manejarlo con una herramienta que permita extraer el valor buscado sin mucha complejidad. Es entonces que surge la necesidad de recurrir a la *Inteligencia de Negocios (IN)* ya que ésta se ha encargado de desarrollar varias metodologías para manejar los datos de una empresa de manera que se agilicen procesos con mira a la toma de decisiones.

Manejo del tempario

El elemento de la *IN* que presenta mayor utilidad para el caso del tempario es el análisis *OLAP (On-Line Analytical Processing)* o Procesamiento Analítico en Línea por su efectividad en el manejo de bases de datos con múltiples variables.

Su finalidad es aprovechar los datos disponibles mediante la aplicación de filtros en la base de modo que se obtenga información

relevante para el escenario analizado (Fernández, 2012).

En el sistema de producción se pretende conocer el tiempo total estimado de fabricación a través de los tiempos obtenidos en la desagregación e inferencia. Entonces, para proceder con el análisis OLAP, se debe manejar al tempario como una base de datos multidimensional, es decir, aplicando filtros secuenciales a sus *campos* (en este caso las variables independientes) de modo que la cantidad de datos se reduzca gradualmente hasta que al final se obtenga un *registro* específico (tiempo) para las condiciones dadas. Este paso debe ser repetido para cada proceso hasta obtener el conjunto de valores de los t_0 necesarios para aplicar las ecuaciones expuestas en la primera sección y obtener el tiempo de fabricación T .

Por otra parte, es importante tener en cuenta que no todos los productos se verán afectados por todas las variables ni todos los procesos y que pueden existir procesos que sean iguales para todos los productos. Para lidiar con este tipo de situaciones se debe organizar la base de datos de modo que al ingresar las condiciones iniciales, el sistema pueda funcionar sin necesidad de que su administrador deba cambiar la estructura de la base o realizar operaciones extra fuera de ella. Entonces, es indispensable conocer la ruta del producto a analizar para colocar las operaciones necesarias y otras consideraciones dependientes



del sistema productivo en el tempario de cada proceso.

Además, es necesario tener presente que este estudio está enfocado en PYMEs y que generalmente en ellas no se utilizan sistemas informáticos muy sofisticados o complejos para su gestión. Por eso, para aplicar el análisis OLAP en ese tipo de organizaciones se puede utilizar un software accesible como Excel® y obtener buenos resultados en el manejo de bases de datos multidimensionales según lo expuesto por Dávila (2006).

Finalmente, recordando que el objetivo principal es mitigar el problema de la incertidumbre en el tiempo de fabricación y utilizando estas metodologías de inferencia y manejo de datos que permiten obtener los valores requeridos para ese cometido, se demuestra que es posible predecir la duración de la elaboración de un producto en función de sus características. Sin embargo, es necesario sustentar todo lo expuesto mediante un ejemplo práctico que se presenta a continuación.

3. Demostración de la elaboración y el manejo de un tempario

Para una empresa de tamaño mediano se ha determinado que sus productos A y B tienen un proceso para el que se han considerado cuatro variables: Tipo, Tamaño, Grado de dificultad y Cantidad. Entonces, el Tipo puede ser A o B, a su vez, el Tamaño se divide en Pequeño, Mediano y Grande. Las dificultades se han catalogado como Fácil, Media y Difícil, mientras que la Cantidad puede adoptar cualquier valor numérico ya que los tiempos que se han logrado tomar son unitarios.

Sin embargo, la Cantidad influye en el tiempo de tal manera que basta con una multiplicación para hallar la duración de la fabricación de cierto número de artículos, por lo tanto sólo es necesario hallar el tiempo en base a las otras tres variables. Con esa información podemos determinar la cantidad de datos que tendrá el tempario del proceso:

Variable	Cantidad de valores que puede adoptar
Tipo	2
Tamaño	3
Dificultad	3

Tabla 1: Variables del proceso

Aplicando el principio del producto se tiene:

$$N_I = 2*3*3 = 18$$

Para el proceso se necesitan 18 valores, pero se han logrado tomar los tiempos de 10 posibles combinaciones de las variables independientes:

Tipo	Tamaño	Dificultad	Tiempo Unitario
A	Pequeño	Fácil	1.4
A	Pequeño	Media	
A	Pequeño	Difícil	6.2
A	Mediano	Fácil	2.7
A	Mediano	Media	4.6
A	Mediano	Difícil	
A	Grande	Fácil	
A	Grande	Media	
A	Grande	Difícil	6.8
B	Pequeño	Fácil	0.85
B	Pequeño	Media	
B	Pequeño	Difícil	
B	Mediano	Fácil	1.5
B	Mediano	Media	2.2
B	Mediano	Difícil	
B	Grande	Fácil	
B	Grande	Media	5.3
B	Grande	Difícil	7.2

Tabla 2: Base de datos incompleta

Una vez que se tiene la base de datos estructurada, se procede a la inferencia de tiempos para lo cual se parte de la *codificación* de las variables independientes:

Valores de las variables	Código
A	1
B	2
Pequeño	1
Mediano	2
Grande	3
Fácil	1
Media	2
Difícil	3

Tabla 3: Codificación de los valores de las variables



Las bases de datos con las variables codificadas serían:

Tipo	Tamaño	Dificultad	Tiempo Unitario
1	1	1	1.4
1	1	2	
1	1	3	6.2
1	2	1	2.7
1	2	2	4.6
1	2	3	
1	3	1	
1	3	2	
1	3	3	6.8
2	1	1	0.85
2	1	2	
2	1	3	
2	2	1	1.5
2	2	2	2.2
2	2	3	
2	3	1	
2	3	2	5.3
2	3	3	7.2

Tabla 4: Base de datos incompleta con valores de variables codificados.

Ahora, para hallar los coeficientes de regresión β se transforma la base de los datos disponibles en las formas matriciales expuestas:

X=	1	1	1	1
	1	1	1	3
	1	1	2	1
	1	1	2	2
	1	1	3	2
	1	2	1	1
	1	2	2	1
	1	2	2	2
	1	2	3	2
	1	2	3	3



$$Y = \begin{pmatrix} 1.4 \\ 6.2 \\ 2.7 \\ 4.6 \\ 6.8 \\ 0.85 \\ 1.5 \\ 2.2 \\ 5.3 \\ 7.2 \end{pmatrix}$$

Pero los coeficientes de regresión se hallan mediante la ecuación 9, lo que significa que primero se debe hallar la matriz transpuesta de X:

$$X^T = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 \\ 1 & 1 & 2 & 2 & 3 & 1 & 2 & 2 & 3 & 3 \\ 1 & 3 & 1 & 2 & 2 & 1 & 1 & 2 & 2 & 3 \end{pmatrix}$$

Ahora, $(X^T \cdot X)$:

$$X^T \cdot X = \begin{pmatrix} 10 & 15 & 20 & 18 \\ 15 & 25 & 31 & 27 \\ 20 & 31 & 46 & 38 \\ 18 & 27 & 38 & 38 \end{pmatrix}$$

Y su inversa:

$$(X^T \cdot X)^{-1} = \begin{pmatrix} 1.69590643 & -0.5380117 & -0.15497076 & -0.26608187 \\ -0.5380117 & 0.43274854 & -0.08187135 & 0.02923977 \\ -0.15497076 & -0.08187135 & 0.20467836 & -0.07309942 \\ -0.26608187 & 0.02923977 & -0.07309942 & 0.20467836 \end{pmatrix}$$



Seguidamente, $(X^T \cdot Y)$:

$$X^T \cdot Y = \begin{vmatrix} 38.75 & 38.75 & 38.75 & 38.75 \\ 55.8 & 55.8 & 55.8 & 55.8 \\ 88.35 & 88.35 & 88.35 & 88.35 \\ 84.45 & 84.45 & 84.45 & 84.45 \end{vmatrix}$$

Y los coeficientes dados por $(X^T \cdot X)^{-1} \cdot (X^T \cdot Y)$ son:

$$\beta = \begin{vmatrix} -0.46695906 \\ -1.46461988 \\ 1.33654971 \\ 2.14766082 \end{vmatrix}$$

Ahora, para hallar el coeficiente de determinación y comprobar la efectividad de los coeficientes β se debe hallar la suma de cuadrados de la regresión, para lo cual se transpone la matriz β :

$$\beta' = \begin{vmatrix} -0.46695906 & -1.46461988 & 1.33654971 & 2.14766082 \end{vmatrix}$$

Y se la multiplica por $(X^T \cdot Y)$:

$$\beta' X^T y = \begin{vmatrix} 199.63367 \end{vmatrix}$$

Ahora, se halla la sumatoria de los cuadrados de y :

$$\left(\sum_{i=1}^n y_i \right)^2 = 1501.5625$$

Y se obtiene la suma de cuadrados de la regresión:

$$SS_R = \beta' X^T y - \frac{(\sum_{i=1}^n y_i)^2}{n} = 199.63367 - \frac{1501.5625}{10} = 49.47$$



También se necesita hallar la suma de cuadrados total, para lo cual se transpone la matriz y y se la multiplica por y :

$$y' = \begin{vmatrix} 1.4 & 6.2 & 2.7 & 4.6 & 6.8 & 0.85 & 1.5 & 2.2 & 5.3 & 7.2 \end{vmatrix}$$

$$y'y = \begin{vmatrix} 202.8325 \end{vmatrix}$$

Y la suma de cuadrados total es:

$$SS_T = y'y - \frac{(\sum_{i=1}^n y_i)^2}{n} = 202.8325 - \frac{1501.5625}{10} = 52.67$$

Y el coeficiente de determinación sería:

$$R^2 = \frac{SS_R}{SS_T} = \frac{49.47}{52.67} = 0.939274$$

Lo que significa que los valores β se ajustan un 93.9274% a los datos, lo que es bastante fiable. Por lo tanto, la ecuación es:

$$Y = -0.467 - 1.465X_1 + 1.337X_2 + 2.148X_3$$

Al reemplazar los valores de las variables independientes de la base de datos en la ecuación obtenida es posible hallar todos los tiempos. Aun así, es necesario conocer el error por lo que se comparan los valores obtenidos con los valores medidos:

Tiempo Medido	Tiempo Calculado
1.4	1.553
6.2	5.848
2.7	2.889
4.6	5.037
6.8	8.521
0.85	0.088
1.5	1.425
2.2	3.572
5.3	4.909
7.2	7.056

Tabla 5: Comparación de tiempos medidos y obtenidos en la regresión.

Y calculando el error se tiene:

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{\sum (y - y_{est})^2}{n}} = \sqrt{\frac{5.979}{10}} = 0.773$$

Es prudente mantener los datos medidos y ocupar los valores hallados en la regresión para completar los datos faltantes para mayor precisión. Entonces, el tempario final es:

Tipo	Tamaño	Dificultad	Tiempo Unitario	Cantidad	Tiempo*Cantidad
A	Pequeño	Fácil	1.40	1	1.40
A	Pequeño	Media	3.70	1	3.70
A	Pequeño	Difícil	6.20	1	6.20
A	Mediano	Fácil	2.70	1	2.70
A	Mediano	Media	4.60	1	4.60
A	Mediano	Difícil	7.18	1	7.18
A	Grande	Fácil	4.23	1	4.23
A	Grande	Media	6.37	1	6.37
A	Grande	Difícil	6.80	1	6.80
B	Pequeño	Fácil	0.85	1	0.85
B	Pequeño	Media	2.24	1	2.24
B	Pequeño	Difícil	4.38	1	4.38
B	Mediano	Fácil	1.50	1	1.50
B	Mediano	Media	2.20	1	2.20
B	Mediano	Difícil	5.72	1	5.72
B	Grande	Fácil	2.76	1	2.76
B	Grande	Media	5.30	1	5.30
B	Grande	Difícil	7.20	1	7.20

Tabla 6: Base de datos completa.



Ahora, utilizando el análisis OLAP, se puede obtener cualquier valor. Suponiendo que vamos a analizar un producto de tipo A. Aplicando el filtro a la base se tiene:

Tipo	Tamaño	Dificultad	Tiempo Unitario	Cantidad	Tiempo*Cantidad
A	Pequeño	Fácil	1.40	1	1.40
A	Pequeño	Media	3.70	1	3.70
A	Pequeño	Difícil	6.20	1	6.20
A	Mediano	Fácil	2.70	1	2.70
A	Mediano	Media	4.60	1	4.60
A	Mediano	Difícil	7.18	1	7.18
A	Grande	Fácil	4.23	1	4.23
A	Grande	Media	6.37	1	6.37
A	Grande	Difícil	6.80	1	6.80

Tabla 7: Base de datos con filtro de Tipo de producto.

Si el tamaño es mediano:

Tipo	Tamaño	Dificultad	Tiempo Unitario	Cantidad	Tiempo*Cantidad
A	Mediano	Fácil	2.70	1	2.70
A	Mediano	Media	4.60	1	4.60
A	Mediano	Difícil	7.18	1	7.18

Tabla 8: Base de datos con filtro de Tipo y Tamaño de producto.

Y el grado de complejidad es Difícil:

Tipo	Tamaño	Dificultad	Tiempo Unitario	Cantidad	Tiempo*Cantidad
A	Mediano	Difícil	7.18	1	7.18

Tabla 9: Base de datos con filtro de Tipo, Tamaño y Grado de complejidad del producto.

El tiempo unitario es 7.18 minutos. Pero si la cantidad a fabricar es 5:

Tipo	Tamaño	Dificultad	Tiempo Unitario	Cantidad	Tiempo*Cantidad
A	Mediano	Difícil	7.18	5	35.92

Tabla 10: Base de datos con filtro de Tipo, Tamaño, Grado de dificultad del producto y con Cantidad Específica.

Por lo tanto, el tiempo total de fabricación para cinco productos de tipo A, de tamaño mediano y de complejidad alta es 35.9 minutos.

4. Conclusiones

Se ha demostrado que la variabilidad e incertidumbre en los tiempos de fabricación son una realidad en las industrias que funcionan bajo pedido. Al ser un problema de tipo general, se consideró que debe ser tratado técnicamente de manera que la gestión de los recursos en las PYMEs sea más efectiva y sus resultados mejoren.

Bajo este enfoque, y luego de una revisión de la literatura relacionada con el tema se pudo encontrar una solución viable denominada *tempario* para contrarrestar el problema expuesto. Lo interesante de este contexto es el hecho de trasladar una herramienta que ya es utilizada por sectores que manejan alta incertidumbre en sus procesos como el automotriz y los proyectos desde hace bastante tiempo a los talleres de producción bajo pedido y con una base estadística lo suficientemente buena para tratar el mismo problema desde una perspectiva diferente.

Es así que se ha expuesto cómo estructurar un *tempario* y cómo ayuda a estimar el tiempo de fabricación (especialmente de nuevos productos) en base a variables influyentes en la duración partiendo de las características del producto. Se ha hecho énfasis en cuatro variables principales: tamaño, forma, cantidad y grado de dificultad ya que se considera que son un buen punto de partida debido a que cualquiera que sea la naturaleza del sistema de

producción, ellas siempre van a influir en los tiempos de fabricación.

Así también, se logró plasmar la matemática detrás de todo este proceso. Para ello se inició definiendo la cantidad de datos a manejar en base a las variables que se vayan a considerar y luego se establecieron las ecuaciones que deben ser utilizadas para obtener el tiempo de cada proceso y el tiempo total de fabricación.

Por otra parte, se encontró que los *temparios* presentan la particularidad de poder extenderse demasiado debido a la cantidad de datos que contienen. El inconveniente es contar con los tiempos para todos los productos que puedan presentarse, por eso fue necesario utilizar regresión lineal múltiple para poder inferir todos los datos correspondientes a los tiempos de fabricación en base a las cuatro variables mencionadas. Se puede decir que resultó ser un método bastante bueno partiendo de que basta con hallar una ecuación ajustada al caso específico que se esté tratando y el *tempario* se transformaría en una base de datos completa para estimar tiempos de fabricación. La prueba de la fiabilidad del método es el coeficiente de determinación obtenido que resultó ser bastante favorable. Esto, sumado al bajo nivel de error obtenido, permite demostrar que es posible reducir la incertidumbre inicial que está presente al fabricar productos nuevos en industrias que funcionan bajo pedido.



Ahora, al tratar al tempario como una base de datos multidimensional y extensa se hizo necesario utilizar una herramienta para agilizar la obtención de tiempos y facilitar su manejo, entonces se llegó al concepto de los cubos OLAP que permiten obtener cualquier registro de una base mediante la aplicación de filtros a los campos de la misma. Al obtener un registro se puede visualizar el valor o conjunto de valores buscados y al aplicar las ecuaciones de obtención de tiempos totales se conoce la duración estimada de fabricación. Por lo tanto, se concluye que se puede disminuir la incertidumbre de un nuevo proceso de fabricación mediante la utilización de temparios que predican el tiempo de fabricación en función de múltiples variables.

Recomendaciones

Para futuros estudios se recomienda indagar en nuevas formas de inferir los tiempos, ya que se ha utilizado regresión lineal múltiple, pero probablemente no siempre pueda ser utilizada. Al recordar que el objetivo de la regresión fue inferir tiempos, se podrían utilizar otros métodos estadísticos, algebraicos, etc. con esa finalidad.

Por último, otro factor que resultaría interesante consistiría en medir la incertidumbre antes y después de realizar todo el proceso para poder comparar los resultados y contar con otra metodología para medir la efectividad del análisis.

Agradecimientos

A mis padres y hermanas por todo su apoyo.

A mis amigos (también colegas) por todas las experiencias y los años que estuvimos en las aulas.

Al Ingeniero Jonnatan Avilés y al Ingeniero Rodrigo Guamán por sus valiosos aportes para la realización de este ensayo.

Al Ingeniero James Arias, quien desde su participación como docente, tutor de prácticas pre-profesionales y ahora como director y coautor de este trabajo ha contribuido significativamente en mi formación profesional.

*“¿Me preguntas por qué compro arroz y flores?
Compro arroz para vivir, y compro flores para
tener algo por lo que vivir.” Confucio.*

Referencias Bibliográficas:

- Papers:

- Osorio, J. C., & Motoa, T. G. (2014). Planificación jerárquica de la producción en un job shop flexible. Revista Facultad de Ingeniería, (44), 158-171.
- Guerrero, E. E. Z. (2004). Las pymes y su problemática empresarial. Análisis de casos. Investigación en Administración en América Latina, 296.
- Pérez, Martha (2004). La Pyme en el Tolima: características y problemas. En:



Revista cuadernos de investigación. No. 7 Universidad Corunversitaria Mayo. p. 37-54.

- Orejuela Cabrera, J. P., Ocampo Carrillo, J. J., & Micán Rincón, C. A. (2010). Propuesta metodológica para la programación de la producción en las pymes del sector artes gráficas, área publi-comercial. Estudios Gerenciales, 26(114).
- Dávila, F. (2006). La inteligencia del negocio (business intelligence). Bogotá: Ediciones Politécnico Gran colombiano.
- Fernández, H. A. F. (2012). Inteligencia de negocios como apoyo a la toma de decisiones en la gerencia. Revista vínculos, 9(2), 11-23.

- **Bibliografía complementaria:**

- Schmenner, R. W. (1989). Plant and service tours in operations management. Science Research Associates.
- Polimeni, R., Fabozzi, F., Adelberg, A., & Kole, M. (1994). Contabilidad de costos. Concepto y aplicaciones para la toma de decisiones gerenciales. Editorial. Tercera Edición. Mc. Graw Hill. Bogotá.
- PMI, M. (2008). Guía de los Fundamentos para la Dirección de Proyectos (Guía del PMBOK).
- Figueroa, M. S. (2010). Gestión integrada de proyectos. Catalunya: Iniciativa Digital Politècnica.
- Project Management Institute. (2008). Guía de los Fundamentos para la Dirección de Proyectos (Cuarta ed.). Pennsylvania, Estados Unidos: Project Management Institute, Inc. 14 Campus Boulevard.
- Delgado Guzmán, M. J., & Naranjo Bautista, M. G. (2010). Propuesta de estandarización de tiempos para mantenimiento preventivo Chevrolet en los Volume Makers basasa en el levantamiento y validación de los

temparios actuales en los concesionarios: Automotores Continental y Automotores de la Sierra.

- Cedillo Díaz, P. L. (2010). Propuesta de planificación de la producción en el Taller de Latonería de la Empresa Mirasol SA.
- Wilhelmi, M. R. (2004). Combinatoria y probabilidad. Grupo de Investigación en Educación Estadística, Departamento de Didáctica de la Matemática, Universidad de Granada.
- Spiegel, M. R., Schiller, J. J., & Srinivasan, R. (2003). Teoría y problemas de Probabilidad y estadística (No. 519.2 SPI).
- Pértiga Díaz, S., & Pita Fernández, S. (2000). Técnicas de regresión: Regresión Lineal Múltiple. Cad. Aten Primaria, 7.